

17

A36049 - 074224.0122  
PATENT**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

Inventor(s) : Toshio Mukai et al.  
Serial No. : 10/692,766  
For : HYDROSTATIC GAS BEARING  
Filed : October 24, 2003  
Examiner : To be assigned  
Art Unit : 3682

I hereby certify that this correspondence is being deposited with  
the United States Postal Service as first class mail in an envelope  
addressed to: Commissioner for Patents, United States Patent and  
Trademark Office, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450  
February 12, 2004

Gary Abelev (Reg. No. 40,479)

Commissioner for Patents  
U.S. Patent and Trademark Office  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENTS**

SIR:

Submitted herewith is a certified copy of Japanese Application No. 2002-309354  
filed October 24, 2002 to which priority was claimed upon the filing of the above-captioned  
application.

Applicants believe no fee is required. However, in the event a fee is required the  
Commissioner is hereby authorized to charge payment of any fee associated with this  
communication to Deposit Account No. 02-4377.

Respectfully submitted,

Dated: February 12, 2004

By:

  
Gary Abelev  
Reg. No. 40,479

Attorney(s) for Applicant(s)  
BAKER BOTTS L.L.P.  
30 Rockefeller Plaza, 44th floor  
New York, New York 10112-0228  
(212) 408-2522

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日                      2 0 0 2 年 1 0 月 2 4 日  
Date of Application:

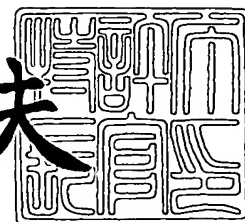
出 願 番 号                      特 願 2 0 0 2 - 3 0 9 3 5 4  
Application Number:  
[ST. 10/C] :                      [ J P 2 0 0 2 - 3 0 9 3 5 4 ]

出      願      人                      新日本製鐵株式会社  
Applicant(s):                      黒崎播磨株式会社

2 0 0 3 年 1 0 月 2 7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 NS00361

【提出日】 平成14年10月24日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 F16C 32/04  
B23Q 3/15  
C04B 35/10

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町 2 - 6 - 3 新日本製鐵株式会社  
内

【氏名】 向井 俊夫

【発明者】

【住所又は居所】 福岡県北九州市八幡西区東浜町 1 番 1 号 黒崎播磨株式  
会社内

【氏名】 石飛 圭吾

【特許出願人】

【識別番号】 000006655

【氏名又は名称】 新日本製鐵株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000170716

【氏名又は名称】 黒崎播磨株式会社

【代理人】

【識別番号】 100107892

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 俊太

【選任した代理人】

【識別番号】 100105441

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 久喬

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 089005

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 静圧気体軸受

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 気体噴出口につながる通気溝を有するオリフィスタイプの静圧気体軸受であって、軸受隙間を  $h$ 、通気溝深さを  $g$  とした時に、 $h$  が  $5\mu\text{m}$  以下であり、かつ  $g/h$  が 5 以上であることを特徴とする静圧気体軸受。

【請求項 2】 軸受を構成する部品の材質が、アルミナ、炭化ケイ素、窒化ケイ素、サイアロン、コーディエライト、もしくはそれらのいずれかを主成分とする複合セラミックスであることを特徴とする請求項 1 記載の静圧気体軸受。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

精密加工機及び検査装置等においては、被加工物又は原盤を高速で高精度に位置決めする移動ステージが必要とされる。本発明は、それら移動ステージに用いられる静圧気体軸受に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

静圧気体軸受は、移動ステージのガイドとスライダーの間で構成される。通常スライダーに設けたオリフィスからガイドに向かって空気等の気体を噴出し、ガイドとスライダーの間に剛性を持った気体膜を作る。この気体膜が形成されることにより、静圧気体軸受は剛性を持った非接触軸受として機能する。

【0 0 0 3】

気体軸受は非接触で油等の潤滑材を必要としないなどクリーンな軸受であるが、気体のもつ圧縮性の効果と粘性係数が小さいことにより振動減衰性能が良くない。例えば、粘性減衰系の自由振動の振幅は  $\exp(-\zeta \omega_n t)$  に比例して小さくなる（ここで、 $\omega_n$  は系の固有角振動数である）が、空気軸受の  $\zeta$  は 0.05 程度であることが多い。ステージの停止性能もしくは同期性能を上げるためには、減衰比  $\zeta$  の大きな軸受を使うことが有利である。従来技術では、 $\zeta$  を抜本的に上げる技術を提供していない。

## 【0004】

オリフイスタイプの軸受は、オリフイスにつながる通気溝を軸受面全面に設けることにより、その剛性を高めてきた。従来、このタイプの軸受の隙間は $5\mu\text{m}$ 以上とされ、通気溝の深さは $20\mu\text{m}$ 以下とされてきた（例えば、特許文献1）。軸受隙間を $5\mu\text{m}$ 以上としてきた理由は、主に対象部材が金属であったために、軸受面の加工が困難であったことと、精密に仕上げて使用時にキズをつけてしまうなど精度が維持できない場合が多かったためである。また、軸受に使う鉄系又はアルミニウム系の材料は熱膨張係数が大きく、周囲の温度変動で軸受の隙間が変わり、軸受特性が大きく変わることも懸念されていた。通気溝深さを $20\mu\text{m}$ 以下としてきたのは、それ以上の溝深さにすると系が不安定になり、自励振動をする場合があったからである。

## 【0005】

## 【特許文献1】

特開平3-213718号公報

## 【0006】

## 【発明が解決しようとする課題】

本発明は、減衰特性の優れた静圧気体軸受を提供することを目的とする。

## 【0007】

## 【課題を解決するための手段】

本発明者は、アルミナ等セラミックス材料が軸受部材に工業ベースで使用可能になった状況下で、従来の軸受の常識にとらわれずに、大きく軸受隙間ならびに溝深さを変えて理論計算を行なった。その結果、軸受隙間の小さいところで減衰比の極めて高い軸受を発明するに至った。即ち、本発明の要旨は以下の通りである。

(1) 気体噴出口3につながる通気溝5を有するオリフイスタイプの静圧気体軸受であって、軸受隙間を $h$ 、通気溝深さを $g$ とした時に、 $h$ が $5\mu\text{m}$ 以下であり、かつ $g/h$ が5以上であることを特徴とする静圧気体軸受。

(2) 軸受を構成する部品の材質が、アルミナ、炭化ケイ素、窒化ケイ素、サイアロン、コーディエライト、もしくはそれらのいずれかを主成分とする複合セラ

ミックスであることを特徴とする請求項 1 記載の静圧気体軸受。

ここで、オリフィス 2 の気体噴出側先端を気体噴出口 3 と定義した。

### 【0008】

#### 【発明の実施の形態】

本発明を説明するに、好適な実施例を持ってしめす。実施例は、流体力学に基づくシミュレーションの結果であるが、その結果はほぼ実験においても再現されることは本分野においては周知とされるところである。

### 【0009】

本発明が関与する軸受は、オリフィス 2 を気体噴出手段として用いる静圧気体軸受である。図 1 にオリフィス 2 を気体噴出手段として用いる静圧気体軸受の断面図を示す。同図において、絞り効果と気体の質量流量の関係を説明する。図には、オリフィス 2 直下の通気溝 5 内で自成絞り状態が実現されている場合を示した。

### 【0010】

給気圧 $P_s$ で与えられた気体は、オリフィス 2 先端の気体噴出口 3 から噴出され、通気溝 5 内に広がる時に断熱膨張による絞り効果（図 1 の場合は自成絞り効果）を受け圧力 $P_z$ になる。オリフィス直下の仮想円筒 8 から出た気体は、通気溝内に拡がり、通気溝 5 から軸受ランド 7 部を経て軸受外に放出される。気体圧力は、通気溝 5 からランド 7 部を経て軸受端に至る過程で粘性抵抗を受け大気圧力 $P_a$ まで低下する。

### 【0011】

流体力学の教えるところに従い、気体の質量流量は次のように表される。

(1) オリフィス 2 から噴出される質量流量

$$M_1 = [C_D A P_s / (RT)]^{1/2} \cdot \psi_0$$

ここで、 $P_z/P_s \geq [2/(\kappa+1)]^{\kappa/(\kappa-1)}$  のときに

$$A = \pi D(g + h)$$

$$\psi_0 = [2\kappa/(\kappa-1)]^{1/2} \cdot [(P_z/P_s)^{2/\kappa} - (P_z/P_s)^{(\kappa+1)/\kappa}]^{1/2}$$

(2) 軸受隙間 6 において粘性抵抗を受けて出て行く質量流量

差分法による計算を前提に、マトリックス表示を行ったときに、

$$M_2 = [(h+g)^3 / 24 \mu RT] \cdot [C_{i,j} P_{i,j}^2 - C_{i,j-1} P_{i,j-1}^2 \cdots]$$

と表される。ここで、 $P_{i,j}$  は  $(i,j)$  点における圧力、 $C_{i,j}$  はその係数。

他のパラメータは以下の通りである。

D：オリフィスの直径、g：通気溝の深さ、h：軸受の隙間、 $C_D$ ：流量係数（ $\approx 0.9$ ）、 $\mu$ ：気体の粘性係数、R：ガス定数、T：温度、 $\kappa$ ：比熱比

### 【0 0 1 2】

平衡状態においては、オリフィスを含む分割要素内での質量の出入りはバランスする。すなわち、 $M_1 = M_2$  となる。オリフィス以外の通気溝部及びランド部においても質量流量が保存されるので、各分割要素につき格子点間の圧力の関係式が導かれる。これらの関係式を解くことにより平衡圧力分布を求めることができる。

### 【0 0 1 3】

時間的に変動する場合の式は以下の通りである（オリフィスを含まない分割要素については  $M_1 = 0$ ）。

$$M_1 - M_2 = (1/RT) \cdot \partial (P_{i,j} \cdot V_{i,j}) / \partial t$$

ここで、 $V_{i,j}$  は  $(i,j)$  点の分割要素における軸受隙間の体積である。動特性を計算するに当たり、平衡点周りで摂動法を用いて計算を行なった。すなわち、 $h = h_0 + \Delta h \cdot \exp(i \omega t)$ 、 $P_{i,j} = P_0 + \Delta P_{i,j} \cdot \exp(i \omega t)$  として定式化し、複素動剛性  $E_{i,j} = \Delta P_{i,j} / \Delta h$  を求める関係式を各格子点について導いた。それらの関係式を連立させて解き、各格子点の  $E_{i,j}$  を求めた。 $E_{i,j}$  の実数成分の全格子点に渡っての和を A、虚数成分の和を B としたとき、減衰比  $\xi$  は  $\xi = B / (2 A)$  で与えられる。減衰比は周波数  $f$ （ここで  $\omega = 2 \pi f$ ）によって変化する。流体力学の計算では、周波数に比例するスクイーズナンバー  $\sigma$  によって計算結果が整理される。縦寸法  $a$ 、横寸法  $b$  の長方形のパッドのスクイーズナンバーは次式で表される。

$$\sigma = (12 \mu \omega / P_a) \cdot (a \cdot b / c^2)$$

ここで、 $c$  は代表軸受隙間で任意に取ることが可能であるが、本計算にては  $c = 5 \mu m$  で計算した。ここで、パッドとは、軸受面を限定する大気圧よりも気体圧力の大きい部分のことである。



## 【0 0 1 4】

以下、典型的なクロスTタイプの通気溝パターンを例に取って、本発明の実施形態を示す。図2は、計算に用いたモデル軸受である。パッドサイズは $a = b = 40\text{mm}$ 、オリフィス2の直径は $D = 0.2\text{mm}$ 、通気溝5の幅は $1\text{mm}$ である。最外周の通気溝中心線からパッド外周までの距離（すなわちランド幅）は $6\text{mm}$ とした。給気圧を大気圧との差圧で $0.4\text{MPa}$ とし、溝深さ $g$ を変化させて、代表的な軸受隙間 $h$ に対して減衰比 $\zeta$ を計算した。図3、4、5に $h = 3、5、7\mu\text{m}$ の場合の計算結果をスクイーズナンバー $\sigma$ に対して示した。

## 【0 0 1 5】

通常よく使われる $h = 5 \sim 7\mu\text{m}$ の軸受隙間では、減衰比は通気溝深さによって大きく変化し、溝深さが $20\mu\text{m}$ を超える場合には減衰比が負になる $\sigma$ の領域が現れた。減衰比が負になる領域では軸受は自励振動をするので、この領域で軸受が使われることは無い。これらの傾向は、 $h = 3\mu\text{m}$ では大きく異なり、逆に通気溝深さが深いほど減衰比は正の方向に大きくなるという結果が得られた。本発明はこれらの新しい知見に基づくものである。すなわち、従来の通念と異なって通気溝深さを深くするほど減衰比が大きくなるという現象は、軸受隙間が $5\mu\text{m}$ 以下のときであることから、本発明の第一条件として軸受隙間 $h$ を $5\mu\text{m}$ 以下とした。また、本現象は通気溝深さ $g$ と軸受隙間 $h$ との相対値が大きいほど顕著である。計算から、本現象が顕著に表れ始めるのが $g/h = 5$ 近傍であることがわかったので、本発明の第二条件として $g/h$ を5以上とした。

## 【0 0 1 6】

本発明は、本実施例のパッド構造に限定されるものではない。オリフィス2の直径としては $0.1 \sim 0.3\text{mm}$ 程度まで適用可能であるし、1パッド中に含まれるオリフィス2の数は2個以上の複数であっても良い。また、オリフィスにつながる通気溝5の構造も本実施例のクロスT型に限るものではない。例えば、2個以上のオリフィスに別々につながる任意の溝構造であっても類似の結果を得ることができる。本実施例にては、溝深さを単一としたが、本発明の思想を失わない範囲で溝の部位によってその深さを変えても良い。

## 【0 0 1 7】

軸受隙間 6 が小さくなると、軸受を構成する部材の材質の選定が重要になる。従来よく使われた鉄系又はアルミニウム系の金属では、高精度の加工が困難な上に、組立てもしくは使用中にキズをつけ、使用不能になる場合がある。また、上記の金属は熱膨張係数が大きいために、使用中の温度変化で軸受隙間が変化する。狭い隙間の場合は温度上昇によって隙間がつぶれる場合も出てくる。本発明におけるように軸受隙間を  $5\mu\text{m}$  以下と限定する場合には、上記金属の適用は好ましくなく、高精度加工が容易で接触等による傷つきが少なく、さらに温度変化による寸法変化の少ないセラミックスの適用が好適である。

#### 【0018】

本発明の軸受用のセラミックスとしては、安価で剛性が高く  $5.3\text{ppm/K}$  と熱膨張係数の比較的低いアルミナが好適である。さらに高い剛性を要求される場合は、 $2.3\text{ppm/K}$  の熱膨張係数を持つ炭化ケイ素の適用が好適である。特に  $3\mu\text{m}$  以下の狭い隙間で使用される軸受としては、室温における熱膨張係数が  $1.2\text{ppm/K}$  の窒化ケイ素またはサイアロンもしくは熱膨張係数が  $0.1\text{ppm/K}$  以下のコーディエライト系の零膨張セラミックスの適用が望ましい。

#### 【0019】

本発明の実施形態としては、軸受を構成するスライダ 1、ガイド 4、及びオリフィスの材質をすべて同種のセラミックスにする方が望ましいが、オリフィス 2 を有する部材（ノズル）については別体として異種のセラミックスもしくは金属の別材質のノズルを装着することも可能である。通気溝 5 の形成は、通常のダイヤモンド砥石による微細加工、もしくはレーザー加工又はサンドブラスト加工によって行なうことができる。

#### 【0020】

##### 【発明の効果】

本発明は、オリフィスタイプの静圧気体軸受において、軸受隙間  $h$  を  $5\mu\text{m}$  以下とし、かつ通気溝深さ  $g$  / 軸受隙間  $h$  が 5 以上とすることにより、減衰比の極めて高い軸受を実現することができる。

#### 【0021】

本発明はまた、軸受を構成する部品の材質をアルミナ、炭化ケイ素、窒化ケイ

素、サイアロン、コーディエライト、もしくはそれらのいずれかを主成分とする複合セラミックスとすることにより、高精度加工が容易で接触等による傷つきが少なく、さらに温度変化による寸法変化の少ない軸受を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

オリフィス型の軸受を説明する模式図である。

【図 2】

クロス T 型の通気溝構造を説明する模式図である。

【図 3】

軸受隙間  $h = 3 \mu\text{m}$  の場合の減衰比  $\zeta$  の計算結果を示す図である。

【図 4】

軸受隙間  $h = 5 \mu\text{m}$  の場合の減衰比  $\zeta$  の計算結果を示す図である。

【図 5】

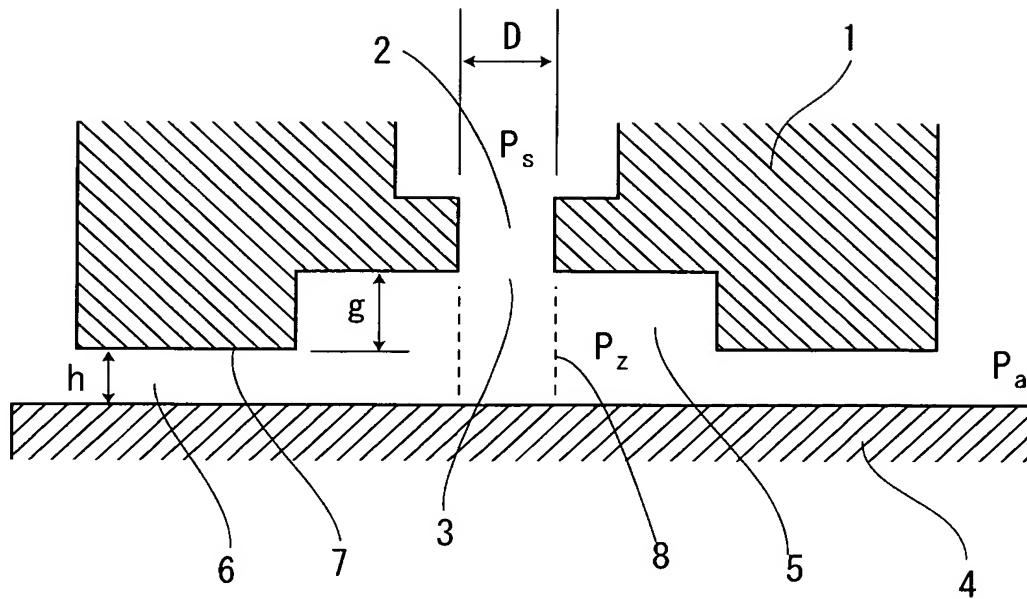
軸受隙間  $h = 7 \mu\text{m}$  の場合の減衰比  $\zeta$  の計算結果を示す図である。

【符号の説明】

- 1 . . . スライダー
- 2 . . . オリフィス
- 3 . . . 気体噴出口
- 4 . . . ガイド
- 5 . . . 通気溝
- 6 . . . 軸受隙間
- 7 . . . ランド
- 8 . . . 仮想円筒

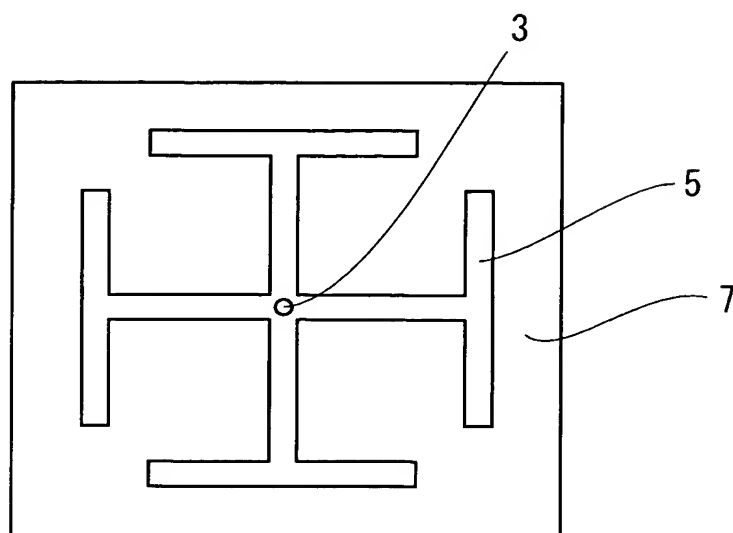
【書類名】 図面

【図 1】



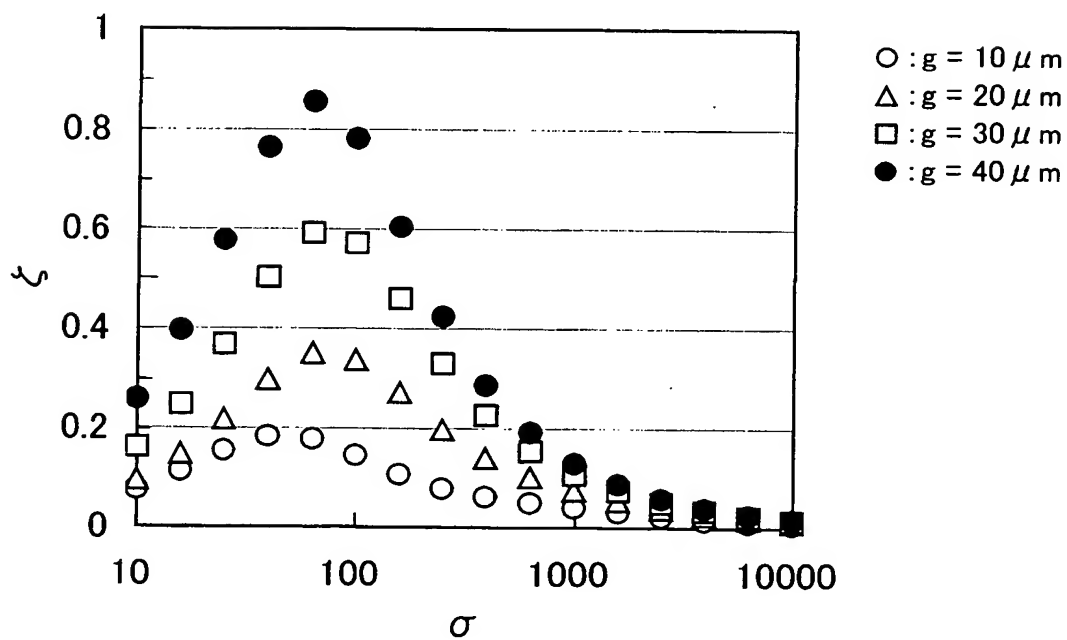
- 1 スライダー
- 2 オリフィス
- 3 気体噴出口
- 4 ガイド
- 5 通気溝
- 6 軸受隙間
- 7 ランド
- 8 仮想円筒

【図 2】

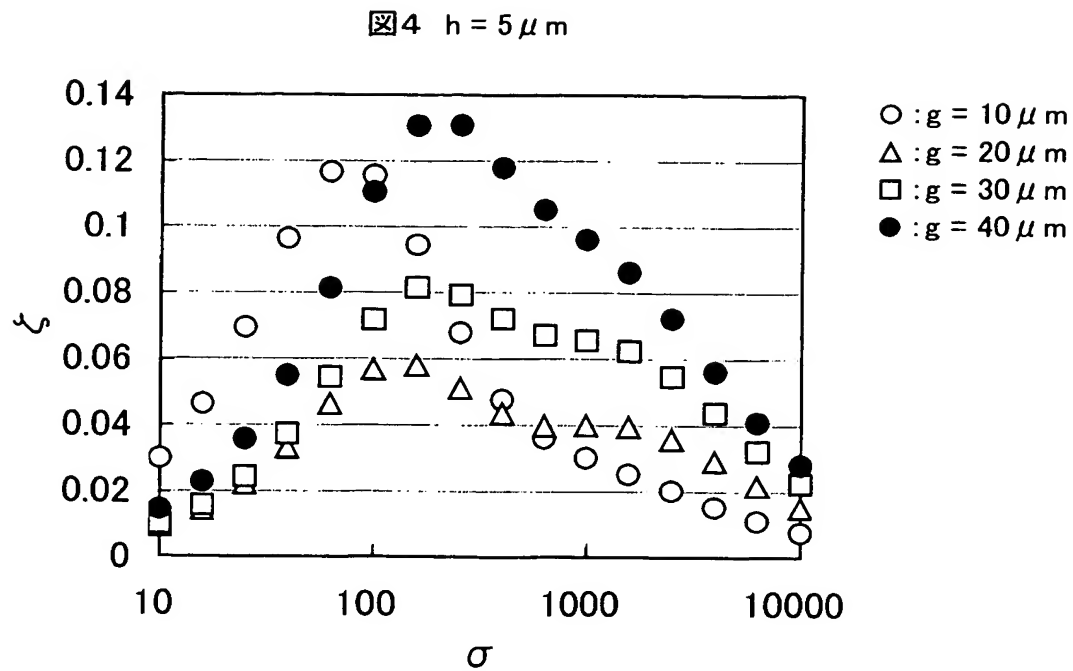


【図 3】

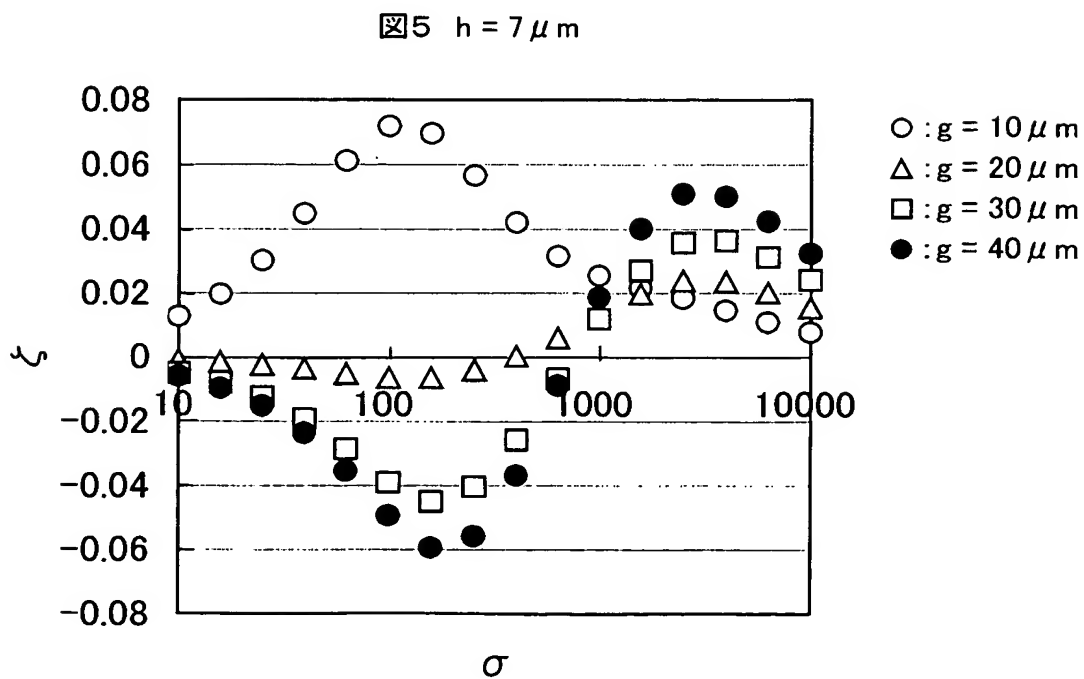
図3  $h = 3 \mu\text{m}$



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 本発明は、減衰特性に優れた静圧気体軸受を提供することを目的とする。

【解決手段】 本発明は、気体噴出口につながる通気溝を有するオリフィスタイプの静圧気体軸受であって、軸受隙間を  $h$ 、通気溝深さを  $g$  とした時に、 $h$  が  $5\mu\text{m}$  以下であり、かつ  $g/h$  が 5 以上であることを特徴とする静圧気体軸受である。軸受を構成するガイド、スライダー及びオリフィスの材質を、アルミナ、炭化ケイ素、窒化ケイ素、サイアロン、コーディエライト、もしくはそれらのいずれかを主成分とする複合セラミックスとすることにより、より効果的に本発明が実施可能である。

【選択図】 図 3

特願 2 0 0 2 - 3 0 9 3 5 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 6 6 5 5 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 1 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区大手町 2 丁目 6 番 3 号

氏 名

新日本製鐵株式会社



特願 2 0 0 2 - 3 0 9 3 5 4

出 願 人 履 歷 情 報

識別番号

[ 0 0 0 1 7 0 7 1 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 4 日

[変更理由]

新規登録

住 所

福岡県北九州市八幡西区東浜町 1 番 1 号

氏 名

黒崎窯業株式会社

2. 変更年月日

2 0 0 0 年 4 月 7 日

[変更理由]

名称変更

住 所

福岡県北九州市八幡西区東浜町 1 番 1 号

氏 名

黒崎播磨株式会社